



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA E INDUSTRIAL

TESIS:

**Desarrollo de un sistema de detección y
manipulación de objetos para un robot de
Servicio**

Edgar de Jesús Vázquez Silva

Noviembre 2016

Índice general

1. Introducción	5
1.1. Planteamiento del problema	5
1.2. Hipótesis	7
1.3. Objetivos	7
2. Marco teórico	9
2.1. Robots de servicio	9
2.2. Fundamentos básicos de Robots Manipuladores	10
2.2.1. Configuraciones típicas y parámetros característicos . .	11
2.2.2. Descripciones espaciales y transformaciones	12
2.2.3. Cinemática directa	14
2.3. Imágenes RGB-D	15
2.4. Algoritmo RANSAC	17
2.5. Algoritmo PCA	17
2.6. Características del objeto	17
2.7. Planeación de tareas	17
3. Detección de objetos	18
3.1. Kinect	18
3.2. OpenCV	18
3.3. Algoritmo RANSAC	18
3.4. Análisis de componentes principales	18
4. Manipulador	19
4.1. Descripción de los elementos del sistema de manipulación . . .	19
4.2. Documentación servos dynamixel	19
4.3. Cinemática inversa	19
5. Integración	20
5.1. Máquinas de estados	20
5.2. ROS	20

5.3. Constitución del robot de servicio Justina	20
6. Resultados	21
7. Conclusiones	22

Agradecimientos

A mi familia,
al laboratorio de Biorrobótica,
al Dr. Jesús Savage Carmona,
al Mtro. Marco Negrete Villanueva,
por su paciencia y apoyo en todo momento.

Se agradece al CONACYT, a través del proyecto 245491, "Laboratorio de Movilidad e Infraestructura Verde para la Eficiencia Energética en Ciudades", por el apoyo recibido en la realización de este documento.

Abstract

El reconocimiento de objetos y la adecuada manipulación de los mismos es una problemática común en el área de la robótica de servicios. El presente documento aborda el diseño de un sistema de manipulación de objetos formado por un brazo robótico de 7DOF, el desarrollo de un algoritmo de visión computacional para reconocer la posición y orientación de los objetos, el desarrollo de la cinemática inversa del brazo robótico y finalmente la planeación de acciones entre la detección de un objeto y su correcta manipulación.

Capítulo 1

Introducción

En los últimos años, el área de la robótica y sus múltiples aplicaciones se han expandido a pasos agigantados, tal es el caso de la robótica de servicios. Años atrás la idea de tener un robot capaz de ayudar en las tareas del hogar sólo era concebida gracias a la ciencia ficción; hoy en día es una total realidad. Un robot es un sistema mecánico controlado automáticamente, reprogramable, multipropósito, con diversos grados de libertad, el cual puede ser fijo o móvil [1]. Actualmente existe un auge en utilizar a los robots como auxiliares en las actividades domésticas, un área llamada: robótica de servicio”. Sin embargo el área de la robótica de servicios y robots de asistencia comprende un gran rango de problemáticas.

1.1. Planteamiento del problema

Los robots enfrentan problemáticas a la que cualquier humano está sometido día a día: ambientes dinámicos, características de entornos no estandarizados, incertidumbre ante escenarios desconocidos. Dada la naturaleza de esta disciplina científica han surgido diversas líneas de investigación que abarcan estas problemáticas. La mecánica, la electrónica, la informática, la inteligencia artificial y la ingeniería de control, son algunas de las disciplinas involucradas. La robótica se ayuda de estas disciplinas para resolver problemas particulares, por ejemplo un robot de servicios debe ser capaz: de reconocer y manipular objetos en diferentes ubicaciones y desde diferentes alturas, de tener locomoción en diferentes tipos de superficies, de interactuar con un humano, de distinguir diferentes personas. Por último, pero no menos importante, el funcionamiento seguro de estos sistemas en ambientes dinámicos es un requisito fundamental para su futura aceptación y aplicabilidad.

La creación de estos sistemas autónomos requiere la integración de un gran conjunto de capacidades y tecnologías. Los ejemplos de capacidades incluyen la interacción humano-robot (habla, identificación de personas, seguimiento de personas, entre otros), navegación, planificación de acciones, control de comportamientos, detección y reconocimiento de objetos, manipulación de objetos o seguimiento de objetos. Con respecto a las tecnologías se requerido la aplicación de sensores RGB-D, cámaras estereoscópicas, sensores láser, entre otros.

Con respecto a la inteligencia, los sistemas deben contener métodos de planificación de acciones y comportamientos adaptables. Los procedimientos apropiados deben, por ejemplo, permitir al operador del robot enseñar nuevos comportamientos y entornos vía comandos de voz o gestos. Los futuros hogares probablemente contendrán dispositivos electrónicos más inteligentes capaces de comunicarse entre si incluyendo el uso de internet como base común de conocimientos, de modo que los robots desempeñarán un papel más importante.

Entre todas estas líneas de investigación es imprescindible contar con un robot que sea capaz de interactuar con los objetos en el mundo real, por ello es necesario contar un sistema que pueda reconocer los objetos y su posición adecuadamente. Sin embargo, esta línea de investigación atiende a problemáticas muy concretas, en el mundo real los robots se enfrentan con condiciones dinámicas en el ambiente, por ejemplo al pedir a un robot que tome un objeto y pueda llevarlo hasta nosotros, el primer problema al que nos enfrentamos es conocer la posición del objeto (la cual será diferente en cada ocasión), posteriormente, si deseamos localizar dos objetos del mismo tipo, estos no serán reconocidos de igual manera por el robot debido a las condiciones de luz, a los cambios de forma, y a los cambios de apariencia.

Dadas las características antes descritas, es preciso estimar la probabilidad de que un robot pueda manipular correctamente los objetos. Para ello es necesario dividir la tarea en operaciones: la primera de ellas consiste en estimar la posición del objeto, tener un indicador que nos ayude a determinar cuál es la mejor forma de tomar un objeto y conocer la probabilidad de que el robot haya reconocido un objeto exitosamente. Otra de las operaciones necesarias es llevar el actuador final del brazo robótico a una posición (x, y, z) deseada. Por último es necesario contar con un planeador de acciones para coordinar cada uno de los eventos dentro de la tarea.

Podemos observar que las problemáticas son variadas, sin embargo podemos reducir el problema principal en tres tareas secundarias: Detectar un objeto, obtener una aproximación de cuál será la mejor manera de tomarlo y caracterizar el sistema en conjunto para obtener un parámetro de confiabilidad.

1.2. Hipótesis

- Un sistema de visión computacional con implementación de un algoritmo de análisis de componentes principales podrá indicarnos cuál es la mejor orientación para tomar un objeto y por tanto mejorará manipulación de objetos.

1.3. Objetivos

Objetivo general

Implementar un conjunto de algoritmos de visión computacional que mejore el sistema de detección y manipulación de objetos formado por un sensor kinect y un brazo robótico de 7DOF en un robot de servicios.

Objetivos específicos

- Implementar un algoritmo de visión computacional para identificar un plano.
- Implementar un algoritmo de visión computacional para determinar la posición de un objeto.
- Implementar un algoritmo de análisis de componentes principales para identificar la orientación de los objetos.
- Calcular la cinemática inversa de un brazo robótico de 7DOF para llevarlo a una posición deseada (x, y, z, roll, pitch, yaw).
- Caracterizar el sistema de manipulación de objetos usando un modelo bayesiano.

En el capítulo 3 de este documento se aborda la manera en que se desarrollaron los algoritmos de visión computacional para realizar la extracción de un plano, identificar la posición de un objeto, implementar un algoritmo de Análisis de Componentes Principales para obtener cual será la mejor orientación para tomar un objeto a partir de su forma. En el capítulo 4 se describe el sistema de manipulación utilizado. Se comienza por conocer las características de los actuadores utilizados, se obtienen las ecuaciones correspondientes a la cinemática de los brazos para llevarlo hasta una posición (x , y , z , roll, pitch, yaw) desada. En el capítulo 5 se realiza la integración de las tareas antes mencionadas, la plataforma sobre la cual se desarrolló el sistema y se describe el desarrollo del modelo probabilístico utilizado para mejorar la manipulación de objetos en un robot de servicios.

Capítulo 2

Marco teórico

2.1. Robots de servicio

Dado que este trabajo se centrará en los robots de servicio, en particular en una metodología de detección y manipulación de objetos, resulta fundamental poner en evidencia el panorama actual de los robots de servicio. La idea general de la robótica de servicio doméstico ha existido desde hace mucho tiempo, pero es un tema de investigación relativamente joven. El objetivo de crear robots de servicios útiles y autónomos que puedan interactuar con seres humanos y objetos en el mundo real en un entorno natural plantea un gran número de problemas sin resolver en muchas disciplinas científicas.

Recientemente, el progreso en estos campos de investigación, así como el progreso y la normalización en el desarrollo de hardware y software, ha llevado a un aumento en la disponibilidad de recursos, métodos y componentes para el desarrollo de Robots de servicio doméstico . Por ello estamos cada vez más cerca de convivir con robots de servicios de manera exitosa en diversos lugares, por ejemplo hospitales [2], oficinas, construcciones, o tiendas departamentales [3].

Estos desarrollos han sido posibles gracias a herramientas de código abierto como lo es Ubuntu, ya que ha servido como base para el desarrollo de software especializado para robots, por ejemplo ROS [4]. Este conjunto de librerías especializadas para robots pueden llegar a ser muy patículess y estar enfocados a una sola área de investigación de las antes mencionadas, por ejemplo: Carmen [5], un conjunto de librerías y algoritmos de control para navegación de robots, desarrollados por la universidad Carnegie Mellon[6].

En la parte de simulación se cuenta con ejemplos como el USARSim [7], rviz [8] o Gazebo [9]. Por lo que respecta a los algoritmos de visión computacional existen bibliotecas de código abierto por ejemplo OpenCV [10] el cual tiene un gran campo de aplicaciones[11]. Por lo que corresponde a los kits standar de hardware, podemos mencionar la construcción de robots de plataforma standar por ejemplo VolksBot [12] y las plataformas bases por ejemplo ActivRobots [13], Pepper [14], Asimo [15] ha hecho posible desarrollar software de manera más rápida y eficiente.



Figura 2.1: Robot asimo desarrollado por la compañía Honda.

2.2. Fundamentos básicos de Robots Manipuladores

La manipulación adecuada de objetos es una característica imprescindible en los robots de servicio dadas las condiciones de su entorno y las tareas cotidianas que le podemos asignar a dicho robot. Una posible solución a la problemática de la manipulación de objetos es la incorporación de manipuladores seriales a una base móvil; sin embargo se debe tener en cuenta que los objetos a ser manipulados se encuentran en condiciones aleatorias de posición y orientación, estas características implican que el manipulador serial debería ser capaz de alcanzar una posición (x, y, z) con cualquier orientación (roll, pitch, yaw).

Los robots manipuladores clásicos presentan una configuración antropomórfica serial, que hace semejanza con un brazo humano. La arquitectura

típica de un manipulador consiste en una serie de barras rígidas unidas entre sí mediante el uso de articulaciones rotacionales o prismáticas. De manera general cada articulación logra su movimiento gracias a un actuador y a la adición de algunos elementos complementarios como sensores de posición y de velocidad[16].

Los robots manipuladores clásicos están caracterizados, desde el punto de vista mecánico, por una serie de propiedades tales como los grados de libertad, el espacio de trabajo, la rigidez estructural, peso propio y la capacidad de llegar a un punto deseado con exactitud en múltiples repeticiones. Además en los robots manipuladores suelen tomarse en cuenta otras características adicionales: la carga útil máxima y la velocidad de trabajo.



Figura 2.2: Robot serial elaborado por la compañía ABB.

2.2.1. Configuraciones típicas y parámetros característicos

Según la geometría de su estructura mecánica, un manipulador puede ser:

- Cartesiano, cuyo posicionamiento en el espacio se lleva a cabo mediante articulaciones lineales.
- Cilíndrico, con una articulación rotacional sobre una base y articulaciones lineales para el movimiento en altura y en radio.
- Polar, que cuenta con dos articulaciones rotacionales y una lineal.
- Esférico (o de brazo articulado), con tres articulaciones rotacionales.

- Mixto, que posee varios tipos de articulaciones, combinaciones de las anteriores. Es destacable la configuración SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm).
- Paralelo, posee brazos con articulaciones prismáticas o rotacionales concurrentes. Figura 2.3

Los principales parámetros que caracterizan a los robots industriales son:

- Número de grados de libertad. Es el número total de grados de libertad de un robot, dado por la suma de g.d.l. de las articulaciones que lo componen. Aunque la mayoría de las aplicaciones industriales requieren 6 g.d.l., como las de soldadura, mecanizado y almacenamiento, otras más complejas requieren un número mayor, tal es el caso de las labores de montaje.
- Espacio de accesibilidad o espacio (volumen) de trabajo. Es el conjunto de puntos del espacio accesibles al punto terminal, que depende de la configuración geométrica del manipulador. Un punto del espacio se dice totalmente accesible si el efector final puede situarse en él en todas las orientaciones que permita la constitución del manipulador y se dice parcialmente accesible si es accesible por el efector final pero no en todas las orientaciones posibles. En la figura inferior se aprecia el volumen de trabajo de robots de distintas configuraciones.
- Capacidad de posicionamiento del punto terminal. Se concreta en tres magnitudes fundamentales: resolución espacial, precisión y repetibilidad, que miden el grado de exactitud en la realización de los movimientos de un manipulador al realizar una tarea programada.
- Capacidad de carga. Es el peso que puede transportar el elemento terminal del manipulador. Es una de las características que más se tienen en cuenta en la selección de un robot dependiendo de la tarea a la que se destine.
- Velocidad. Es la máxima velocidad que alcanzan el efector final y las articulaciones.

2.2.2. Descripciones espaciales y transformaciones

La cinemática es la ciencia del movimiento que trata el tema sin considerar las fuerzas que lo ocasionan. Dentro de esta ciencia se estudian la posición,



Figura 2.3: Robot paralelo.

la velocidad y la aceleración. En consecuencia, el estudio de la cinemática de manipuladores se refiere a todas las propiedades geométricas y las basadas en los cambios de estas a lo largo del tiempo. Dadas las características de este trabajo solo se abordarán la cinemática directa e inversa, sin llegar a analizar la dinámica del manipulador.

El problema de la cinemática directa se plantea en términos de encontrar una matriz de transformación que relaciona el sistema de coordenadas ligado al cuerpo en movimiento respecto a un sistema de coordenadas que permanece estático y se toma como referencia. Para lograr esta representación se usa la matriz de transformación homogénea con una dimension 4x4, la cual incluye las operaciones de rotación y translación.

La matriz de transformación homogénea es una matriz de 4x4 que transforma un vector expresado en coordenadas homogéneas desde un sistema de coordenadas hasta otro sistema de coordenadas. La matriz de transformación homogénea tiene la siguiente estructura:

$$T_{0,1} = \begin{bmatrix} n_x & s_x & a_x & p_x \\ n_y & s_y & a_y & p_y \\ n_z & s_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

donde los vectores n , s , a , son vectores ortogonales unitarios que representan la rotación del sistema y p es un vector que describe la posición x , y , z del origen del sistema actual respecto del sistema de referencia.

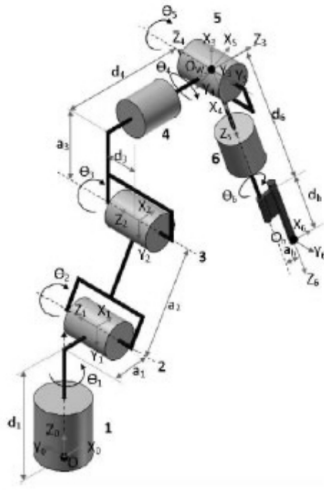


Figura 2.4: Esquema de sistemas de referencia en robot antropomórfico de seis grados de libertad.

2.2.3. Cinemática directa

El problema de la cinemática directa consiste en determinar la posición del efector final en el espacio dado el valor de cada una de las articulaciones. El valor de los ángulos de las articulaciones se determinan con ayuda de sistemas de refencia ubicados en cada una de las articulaciones del robot.

Un robot manipulador está compuesto de un conjunto de enlaces conectados por varias juntas. Las articulaciones pueden ser muy simples, tales como una articulación de revolución o una articulación prismática. Una articulación de revolución es como una bisagra y permite una rotación relativa alrededor de un solo eje coordinado; una junta prismática permite un movimiento lineal a lo largo de un solo eje. En ambos casos podemos observar el que la articulación tiene un solo grado de libertad de movimiento: el ángulo de rotación en el caso de una articulación de revolución, y la cantidad de desplazamiento lineal en el caso de una articulación prismática.

Con el supuesto de que cada articulación tiene un solo grado de libertad, la acción de cada una de las aticulaciones se puede describir por un solo número real: el ángulo de rotación en el caso de una articulación de revolución o el desplazamiento en el caso de una junta prismática. El objetivo del análisis de la cinemática directa es determinar el efecto acumulativo de todo el conjunto de variables de la articulación y observarlo en el efector final.

El análisis cinemático de un manipulador de n-enlaces puede ser extremadamente complejo y las convenciones que se presentan a continuación simplifican el análisis considerablemente.

***** Un robot manipulador con n articulaciones tendrá $n + 1$ enlaces, ya que cada articulación conecta dos enlaces. Se numeran las articulaciones de 1 a n , y se numeran los enlaces de 0 a n , comenzando desde la base en un sistema de referencia fijo. Para esta convención, la articulación i conecta el enlace $i - 1$ al enlace i . Se considera la ubicación de la junta i a fijar con respecto a la conexión $i - 1$.

Cuando se acciona la articulación i , el enlace se mueve por lo tanto, el enlace 0 (el primer eslabón) es fijo, y no se mueve cuando las juntas son accionadas. Por supuesto, el robot manipulador podría ser móvil (por ejemplo, podría ser montado en una plataforma móvil o en un vehículo autónomo), pero no consideraremos este caso en el presente capítulo, ya que puede manejarse fácilmente extendiendo ligeramente las técnicas presentado aquí.

2.3. Imágenes RGB-D

En la robótica de servicios resulta imprescindible contar con robots que sean capaces de percibir su entorno, los elementos que los rodean y determinar características de los mismos. Los humanos, dadas estas necesidades, hemos desarrollado el sentido de la vista que nos permite determinar características del entorno y de los objetos que lo componen tales como el color, la forma, las dimensiones ó su ubicación en el espacio.

Para optimizar los movimientos de un robot, no sólo se debe identificar cada objeto que se encuentra en el entorno de trabajo, sino también la posición que estos guardan respecto al robot. Normalmente, la segmentación de objetos de una imagen se logra mediante la segmentación de color, esta segmentación se logra a partir del análisis cromático de los componentes RGB de la imagen obtenida del objeto; sin embargo, este método es poco eficiente debido a que es sumamente susceptible a los cambios en la iluminación. [17]

Por lo tanto, necesitamos considerar una fuente de datos adicional, en este caso la profundidad, para discriminar objetos que no están en el rango de interés. En este documento se reportan los datos obtenidos al resolver este problema con la incorporación de un sensor RGB-D.

La rápida evolución de esta reciente tecnología ha resultado en el aumento de la calidad de las imágenes, la mejora en la sincronización del color con la

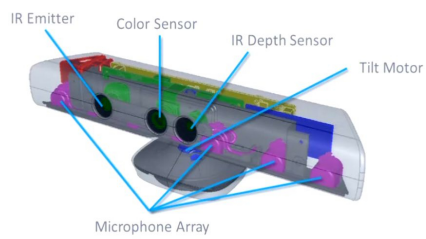
profundidad y la disminución del tiempo de muestreo entre cada imagen. En particular, la profundidad de la imagen se obtiene en una matriz resultado de la proyección de rayos infrarrojos sobre los objetos. El sensor cuenta con una cámara infrarroja que obtiene la lectura de los haces infrarrojos reflejados sobre los objetos.

El sensor Kinect incorpora un sensor de profundidad, una cámara de color y un arreglo de cuatro microfones que, en conjunto, proporcionan una captura de movimiento de cuerpo completo en 3D. La figura 2.5 muestra la disposición del proyector de infrarrojos (IR), la cámara de color y la cámara IR. El sensor de profundidad consta de un proyector IR combinado con una cámara IR, la cual es un sensor semiconductor de metal-óxido monocromático. El sensor de profundidad es desarrollado por la compañía israelí PrimeSense.

Aunque la tecnología exacta es cerrada, se basa en el principio de la estructura de la luz y su difracción. El proyector IR es un láser IR que pasa a través de una rejilla de difracción y se esparce como una nube de puntos. Dada la geometría de construcción entre el proyector IR y la cámara IR se puede reconstruir un modelo 3D si se observa un punto en el proyector y posteriormente se ubica su correspondiente reflexión en la cámara, esto se puede lograr utilizando triangulación.

Debido a que el patrón de puntos es relativamente al azar, la coincidencia entre la imagen IR y el patrón del proyector puede realizarse de forma directa comparando pequeñas vecindades utilizando, por ejemplo, referencias cruzadas.[18]

El valor de la profundidad se codifica en escala de grises, cuanto más oscuro sea un píxel, más cerca está el punto de la cámara en el espacio, los píxeles negros indican que no se posee información respecto a la distancia en ese píxel. Esto puede suceder si los píxeles están demasiado lejos o demasiado cerca de la cámara IR.



(a) Sensor kinect



(b) Sensor kinect estructura

Figura 2.5: Sensor kinect elaborado por Microsoft.

2.4. Algoritmo RANSAC

2.5. Algoritmo PCA

2.6. Características del objeto

2.7. Planeación de tareas

Capítulo 3

Detección de objetos

3.1. Kinect

3.2. OpenCV

3.3. Algoritmo RANSAC

3.4. Análisis de componentes principales

Capítulo 4

Manipulador

- 4.1. Descripción de los elementos del sistema de manipulación
- 4.2. Documentación servos dynamixel
- 4.3. Cinemática inversa

Capítulo 5

Integración

5.1. Máquinas de estados

5.2. ROS

5.3. Constitución del robot de servicio Justina

Capítulo 6

Resultados

Capítulo 7

Conclusiones

Bibliografía

- [1] W. Khalil and E. Dombre, *Modeling, identification and control of robots*. Butterworth-Heinemann, 2004.
- [2] J. M. Evans Jr, C. F. Weiman, and S. J. King, “Visual navigation and obstacle avoidance structured light system,” 4 1990. US Patent 4,954,962.
- [3] H. Endres, W. Feiten, and G. Lawitzky, “Field test of a navigation system: Autonomous cleaning in supermarkets,” in *Robotics and Automation, 1998. Proceedings. 1998 IEEE International Conference on*, vol. 2, pp. 1779–1781, IEEE, 1998.
- [4] “Pagina principal de Ros.” <http://www.ros.org/>. Consultado: 10-2016.
- [5] “Robot Carnegie Mellon herramientas de navegación.” <http://carmen.sourceforge.net/>. Consultado: 10-2016.
- [6] “Página principal universidad Carnegie Mellon.” <http://www.cmu.edu/>. Consultado: 1-2017.
- [7] S. Balakirsky, C. Scrapper, S. Carpin, and M. Lewis, “Usarsim: providing a framework for multirobot performance evaluation,” in *Proceedings of PerMIS*, vol. 2006, 2006.
- [8] “Simulador gráfico rViz.” <http://wiki.ros.org/rviz>. Consultado: 11-2016.
- [9] “Simulador gráfico Gazebo.” <http://gazebo.org/>. Consultado: 11-2016.
- [10] “Biblioteca abierta visión computacional.” <http://sourceforge.net/projects/opencv/>. Consultado: 10-2016.

- [11] G. R. Bradski and V. Pisarevsky, “Intel’s computer vision library: applications in calibration, stereo segmentation, tracking, gesture, face and object recognition,” in *Computer Vision and Pattern Recognition, 2000. Proceedings. IEEE Conference on*, vol. 2, pp. 796–797, IEEE, 2000.
- [12] T. Wisspeintner and W. Nowak, *VolksBot-A Construction Kit for Multipurpose Robot Prototyping*. INTECH Open Access Publisher, 2007.
- [13] “ActivRobots.” <http://www.activrobots.com>. Consultado: 10-2016.
- [14] “Robot de plataforma Standar Pepper.” <https://www.ald.softbankrobotics.com/en/cool-robots/pepper>. Consultado: 11-2016.
- [15] “Robot de plataforma Standar Asimo.” <http://asimo.honda.com/>. Consultado: 11-2016.
- [16] A. O. Baturone, *Robótica: manipuladores y robots móviles*. Marcombo, 2005.
- [17] J.-J. Hernandez-Lopez, A.-L. Quintanilla-Olvera, J.-L. López-Ramírez, F.-J. Rangel-Butanda, M.-A. Ibarra-Manzano, and D.-L. Almanza-Ojeda, “Detecting objects using color and depth segmentation with kinect sensor,” *Procedia Technology*, vol. 3, pp. 196–204, 2012.
- [18] Z. Zhang, “Microsoft kinect sensor and its effect,” *IEEE multimedia*, vol. 19, no. 2, pp. 4–10, 2012.